

А. В. Лаптева<sup>1</sup>, В. Г. Лисенко<sup>1</sup>, Ю. Н. Чесноков<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

## УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ГЛИНОЗЕМА СПОСОБОМ БАЙЕРА

Aluminium and its alloys are widely used in various industries of metallurgy and mechanical engineering. Alumina is needed for its production. Alumina is produced mainly by two methods of sintering and Bayer. Due to the expected global warming of the Earth's climate and the required decrease in greenhouse gas emissions (carbon footprint of products), it is necessary to estimate the carbon footprint of alumina. In this article, this trace is defined for the Bayer technique. The carbon footprint of the product is hereinafter referred to as the through emission of alumina.

Исходным сырьем для получения алюминия служат бокситы, нефелины и алуниты [1–4]. Из них получают глинозем, который содержит оксид алюминия  $Al_2O_3$ . Из глинозема электролитическим способом получают жидкий алюминий, который затем подвергается рафинированию. Глинозем из бокситов производят способами К. И. Байера или спекания.

Способ Байера основан на обратимой реакции



Боксит дробят и размалывают до зерен 0,05–0,15 мм с добавлением раствора каустической соды NaOH. Полученная пульпа поступает в автоклавы на выщелачивание при высоком давлении, подогреве до 100–240 °С и перемешивании. Такие условия обеспечивают течение реакции (1) вправо. Полученный алюминатный раствор  $Na_2O \cdot Al_2O_3$  для выделения шлама поступает на процесс разделения. Затем выполняется декомпозиция (разложение) этого раствора при атмосферном давлении, охлаждении и перемешивании или продувкой сжатым воздухом. Реакция (1) идет вправо. Алюминат натрия выпадает в осадок. После чего наступает очередь отделения кристаллов гидроксида алюминия от раствора обезвоживанием. Полученный глинозем поступает на электролиз. В перечисленных процессах непосредственная эмиссия диоксида углерода отсутствует. Имеется транзитная эмиссия при производстве электроэнергии, воздуха и пара.

Для производства 1 т глинозема по способу Байера необходимо:

- 90 кг гидроксида натрия (каустической соды);
- 2,5 т бокситов;
- 120 кг извести;
- 180 кг мазута;
- 8 т пара;
- 280 кВт·ч электроэнергии [4].

На основе этих данных построен граф сквозной эмиссии CO<sub>2</sub> процессов производств алюминия (рис. 1). Граф эмиссий имеет вершины (овалы) и направленные связи в виде стрелок (дуги). Вершины соответствуют ресурсам, используемым в том или ином процессе. В скобках указаны: до черты – эмиссия процесса, после черты – сквозная эмиссия этого процесса (сумма эмиссий в предыдущих процессах с учетом расходов ресурсов) [5].

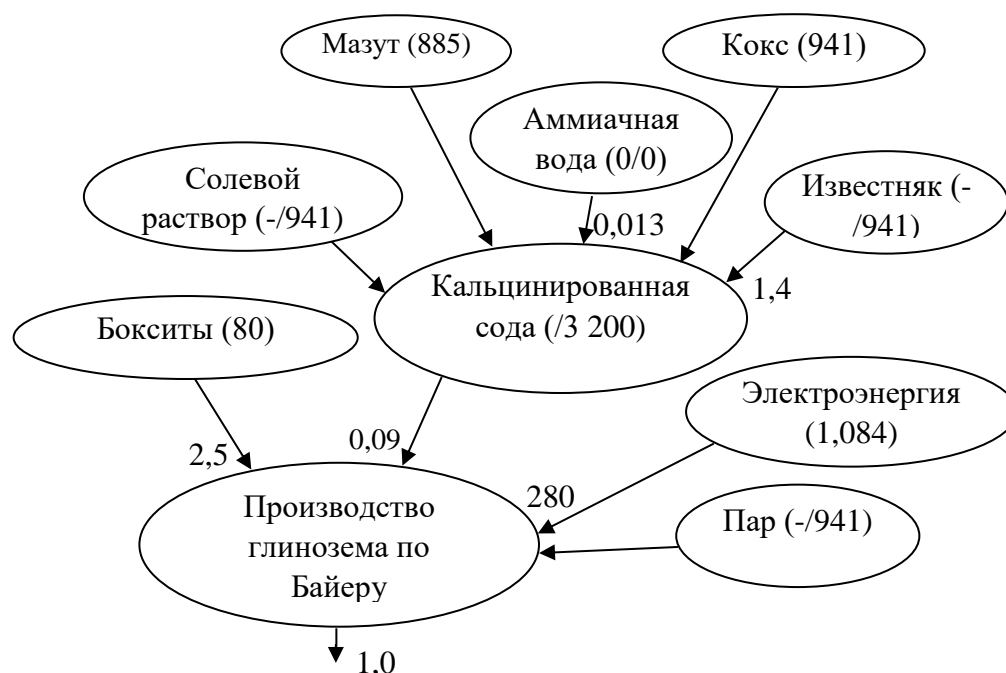


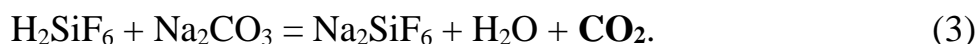
Рис. 1. К оценке сквозной эмиссии CO<sub>2</sub> в процессе производства глинозема

Для получения электролита необходим криолит. Он используется в процессе электролитического получения алюминия. Его производят из плавикового шпата (CaF<sub>2</sub>), который после добычи подвергается обогащению. Плавиковый шпат измельчают и смешивают с серной кислотой во вращающейся

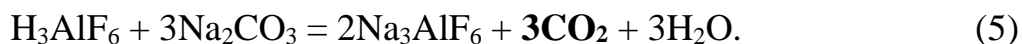
печи при температуре 200 °С. Получается фторид водорода, который служит для получения плавиковой кислоты



Из-за примесей  $\text{SiO}_2$  в плавиковом шпате в этом процессе образуется газ  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . Этот газ и фторид водорода подаются в башни с водой. Полученный раствор очищают от  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  добавлением соды

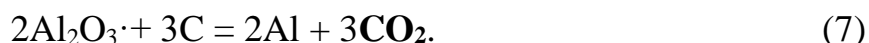


Соль фторокремниевой кислоты выпадает в осадок, остается чистый раствор плавиковой кислоты  $\text{HF}$ . С ее применением получают криолит



Криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  выпадает в осадок, его просушивают при температуре 130–150 °С. Алюминий производят электролизом глинозема, растворенного в расплавленном электролите, основой которого является криолит. Для улучшения свойств электролита в него добавляют  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$  и  $\text{NaCl}$  (иногда). Процесс проходит в алюминиевых электролизерах, которые состоят из ванны, футерованной определенным образом, и угольных электродов. В районе электродов выделяются газы, которые улавливаются газосборным колоколом или газоулавливающим корабом.

Электролит плавится от тепла, выделяемым электрическим током. В расплавленном состоянии в электролите содержатся следующие ионы:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{AlO}_2^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{AlOF}_5^{4-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Носителями тока являются ионы  $\text{Na}$  (90 %) и  $\text{F}$  (10 %). Ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  не разряжаются на катоде, а ионы  $\text{F}^-$  не разряжаются на аноде. Ионы  $\text{Al}$  и оксифторидные ионы, которые переносят кислород, разряжаются на катоде и аноде. На аноде и катоде разряжается глинозем по реакциям:



Жидкий алюминий разливают в слитки или вайербарсы. Граф эмиссий  $\text{CO}_2$  приведен на рисунке. 2.

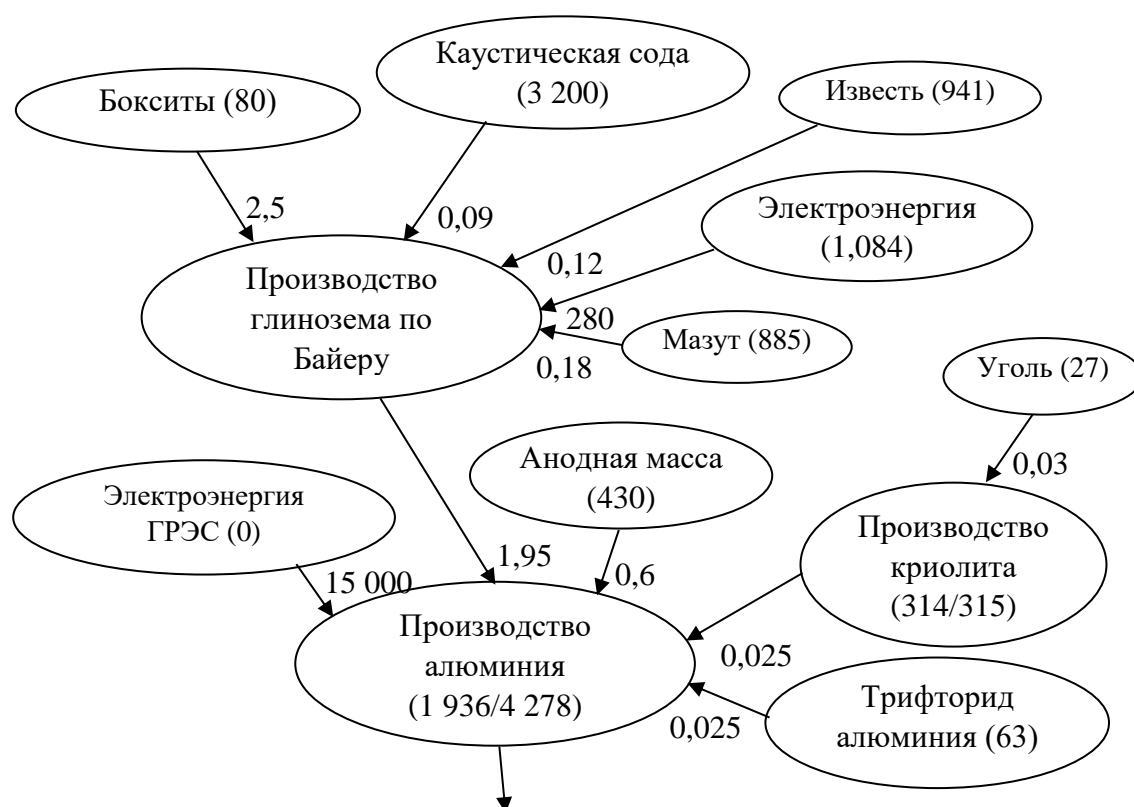


Рис. 2. К оценке сквозной эмиссии  $\text{CO}_2$  в процессе производства алюминия

Для производства 1 т алюминия требуется:

- 25 кг трифторида алюминия  $\text{AlF}_3$ ;
- 1,95 т глинозема;
- 25 кг криолита;
- 600 кг анодной массы;
- 15 МВт·ч электроэнергии от гидроэлектростанций [4].

Таким образом, в самом процессе сгорает 600 кг анодной массы. Положим, что она имеет 88 % углерода. Следовательно, сквозная эмиссия  $\text{CO}_2$  процесса:

$$m_{\text{CO}_2} = 600 \cdot 0,88 \cdot 3,667 = 1\,936 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{т алюминия}.$$

Предварительная оценка сквозной эмиссии  $\text{CO}_2$  (углеродного следа) производства алюминия при использовании глинозема, полученного по методу Байера, составила 4278 кг/т алюминия. Электроэнергия, потребляемая в этом производстве, вырабатывается на гидроэлектростанциях, эмиссия  $\text{CO}_2$  которых мала, что определяет нулевую составляющую транзитной эмиссии  $\text{CO}_2$  производства алюминия от электроэнергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия: учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М.: Металлургия, 1998. – 768 с.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник / С. С. Набойченко, Н. Г. Агеев, С. В. Карелов [и др.]; под общей ред. С. С. Набойченко. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 564 с.
3. Тарасов, А. В. Общая металлургия / А. В. Тарасов, Н. И. Уткин. – М.: Металлургия, 1997. – 592 с.
4. Кистяковский, Б. Б. Производство цветных металлов / Б. Б. Кистяковский, Н. В. Гудима. – М.: Металлургия, 1978. – 344 с.
5. Чесноков, Ю. Н., Лисиенко, В. Г., Лаптева, А. В. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями // Металлург. – 2012. – № 12. – С. 23–26.